

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号
特許第5155693号
(P5155693)

(45) 発行日 平成25年3月6日 (2013.3.6)

(24) 登録日 平成24年12月14日 (2012.12.14)

(51) Int.Cl.

F I

GO 1 N 29/26 (2006.01)

GO 1 N 29/26 5 O 1

GO 1 N 29/04 (2006.01)

GO 1 N 29/10

請求項の数 3 (全 17 頁)

(21) 出願番号	特願2008-44308 (P2008-44308)	(73) 特許権者	390014568
(22) 出願日	平成20年2月26日 (2008.2.26)		東芝プラントシステム株式会社
(65) 公開番号	特開2009-204328 (P2009-204328A)		神奈川県横浜市鶴見区鶴見中央四丁目36番5号
(43) 公開日	平成21年9月10日 (2009.9.10)	(73) 特許権者	000003078
審査請求日	平成22年10月27日 (2010.10.27)		株式会社東芝
			東京都港区芝浦一丁目1番1号
		(74) 代理人	110001380
			特許業務法人東京国際特許事務所
		(72) 発明者	池田 賢弘
			東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝内
		(72) 発明者	山根 憲幸
			東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝内
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 超音波検査装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

複数の圧電振動子からなる超音波トランスデューサと、前記超音波トランスデューサの複数の圧電振動子に接続され、信号発生部からの駆動信号により、所要の圧電振動子を選択する駆動素子選択部と、前記駆動素子選択部に選択された圧電振動子から発振される超音波を音響伝播媒体を介して被検査物に入射させ、その反射エコーを受信し、前記反射エコーの電気信号を検出する信号検出回路と、検出された前記反射エコーの電気信号を演算処理し、前記被検査物の内部の画像情報を生成する信号処理部とを備えた探傷処理装置と、
前記被検査物が設置される走査台と、前記走査台の一辺に略垂直に固定される固定部と、
前記走査台上で互いに直交する三軸方向に前記超音波トランスデューサを移動させる駆動部、および前記三軸方向のうち少なくとも一軸方向の回転軸回りに前記超音波トランスデューサを回動させる回動部とを少なくとも備えたスキャナ機構とを備えた超音波検査装置において、

前記スキャナ機構の走査台に設置された前記被検査物の表面上までの距離を光学的手段を用いて計測して点群からなる計測データを取得する計測部であって、前記スキャナ機構とは独立して前記固定部に設置された光学的計測部と、

前記光学的計測部で取得された前記点群からなる計測データを用いて、前記スキャナ機構の座標系で表された位置情報を持った点の点群からなる前記被検査物の表面の形状データを生成する形状データ生成部と、

前記形状データ生成部で生成された前記形状データを用いて、前記超音波トランスデュー

ーサの走査経路を構成する前記被検査物の表面上の通過点を求め、前記被検査物の表面上の通過点の法線ベクトルと前記超音波トランスデューサの開口面が直交し、かつ前記通過点と前記超音波トランスデューサの開口面中心との距離が一定である前記超音波トランスデューサの走査経路情報を生成する経路情報生成部とを備え、

前記経路情報生成部は、前記被検査物の表面上の通過点の前記形状データを構成する点群上の間を通過する場合、前記被検査物の表面上の通過点に隣接する3点の前記形状データを構成する点で形成された三角形の法線ベクトルを求め、求めた結果を前記三角形内ないし前記三角形の辺と交わる走査経路上の法線ベクトルとすることを特徴とする超音波検査装置。

【請求項2】

前記経路情報生成部で生成された前記走査経路情報の少なくとも一部を補正データとし、前記補正データと、あらかじめ生成された他の走査経路情報との差分を取得し、この差分に基づき前記あらかじめ生成された他の走査経路情報に対し補正処理を行う補正処理部をさらに備えたことを特徴とする請求項1記載の超音波検査装置。

【請求項3】

前記経路情報生成部で生成された形状データを補正データとし、前記補正データと、前記被検査物の形状設計データとの差分を取得し、この差分に基づき前記形状設計データに対し補正処理を行う補正処理部をさらに備えたことを特徴とする請求項1記載の超音波検査装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、超音波検査装置に係り、特に超音波探傷検査時において高精度な走査経路情報を用いることができる超音波検査装置に関する。

【背景技術】

【0002】

構造物や部品内の欠陥、ボイドや接合部の剥がれ等の状態の検査を行うため、これら状態の可視化が可能な超音波検査装置が用いられる。この超音波検査装置は、マトリクス状やリニア状などのアレイ型に形成された圧電変換部から構成される超音波トランスデューサを用いて被検査物の走査を行い、欠陥などの検査を行う。

【0003】

超音波検査装置は、超音波トランスデューサを駆動させるスキャナ機構を備えている。このスキャナ機構は、X軸、Y軸、Z軸、およびA軸（X軸方向の回転軸）、B軸（Y軸方向の回転軸）、C軸（Z軸方向の回転軸）などの所要の軸を備えた直交ロボットや、アーム機構を基本に構成された産業用ロボットなどで構成される。スキャナ機構は制御機構などの制御に基づき駆動することで、スキャナ機構に取り付けられた超音波トランスデューサが被検査物表面上の所定範囲を自動的に探傷する。

【0004】

超音波トランスデューサによって自動的に所定範囲を探傷するためには、スキャナ機構の走査経路情報を事前に生成しておく必要がある。走査経路情報は、被検査物の表面形状に基づいて、例えば超音波トランスデューサの開口幅を1回の走査幅として生成される。

【0005】

走査経路情報の生成方法として、被検査物の形状設計データに基づいて、計算機ソフトウェアを用いて事前に生成する方法がある。この方法は、比較的容易に走査経路情報を作成することができるが、作成された走査経路情報は理想的な形状設計データに基づく走査経路情報であるため、被検査物の製造時における工作精度に起因して、実際の被検査物の形状と形状設計データ上の被検査物との不一致が発生する可能性がある。また、超音波探傷検査時においては、スキャナ機構内の所定位置に被検査物を設置して行うが、被検査物が複雑な形状である場合、高い精度の再現性で所定位置に設置することは困難であった。

【0006】

また、他の走査経路情報の生成方法として、被検査物の表面上でスキャナ機構によって超音波トランスデューサを駆動させることにより、実際の走査経路上の通過点を一点ごと教示・登録し、このスキャナ機構の通過点を走査経路としてつなげたものを走査経路情報として生成する方法がある。この方法は、スキャナ機構を走査経路上の通過点ごとに駆動させることで、スキャナ機構の走査経路を教示・登録するため、膨大な時間および作業が必要であった。また、特にスキャナ機構に設けられた駆動部の構成が複雑である場合には、非常に複雑な手順および操作を要する方法であった。

【 0 0 0 7 】

ここで、高精度な超音波検査を行うためには、超音波トランスデューサが発信する超音波を被検査物の表面に略垂直に入射させる必要がある。また、開口合成法で探傷を行う超音波検査装置については、超音波トランスデューサと被検査物の表面との距離を一定に保つことが必要である。

10

【 0 0 0 8 】

そこで、被検査物と超音波トランスデューサとを一定距離に保持しつつ、被検査物に対し一定角度で超音波を入射することができる超音波探傷装置が提案されている（特許文献 1 参照）。

【 0 0 0 9 】

この超音波探傷装置は、スキャナ機構の走査台に対し略垂直方向の駆動軸の下端に距離センサを設け、被検査物の上部で距離センサをスキャンさせる。スキャンにより得られた被検査物と距離センサとの距離の測定データに基づき、スキャナ機構の座標データである被検査物の形状データを求め、メモリに記憶する。また走査時においては被検査物の形状データの各点上を通過点とした走査経路情報を作成し、駆動機構をオープンループ制御するものであった。

20

【 0 0 1 0 】

また、被検査物の形状データをスプライン関数を用いて補間を行うことで取得し、超音波トランスデューサの姿勢制御を行う自動超音波探傷方法が提案されている（特許文献 2 参照）。

【 0 0 1 1 】

この自動超音波探傷方法は、取得した距離データに対しスプライン関数を用いて補間を行うことで、形状データの作成に要する時間、手間を低減するものであった。

30

【特許文献 1】特開昭 6 3 - 3 0 9 8 5 2 号公報

【特許文献 2】特開平 5 - 4 5 3 4 7 号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 1 2 】

特許文献 1 に示す超音波探傷装置は、被検査物の形状データを得るためには、あらかじめ被検査物上の走査経路の通過点を含む形状データを取得する必要があるため、多大な時間がかかるという問題点があった。また、走査経路情報を生成した後に走査経路を変更したい場合には、再度形状データを取得する必要があるあった。

40

【 0 0 1 3 】

また、特許文献 2 に示す自動超音波探傷方法は、スプライン関数による補間を用いて行うことで少ない点数の距離データで形状データを作成することができたが、より高精度な走査経路情報を生成するためには、なるべく補間の必要性が生じないように距離データの点数を多くとることが必須となっていた。

【 0 0 1 4 】

本発明は、このような事情を考慮してなされたもので、被検査物の表面上の多数の点群である形状データに基づき高精度かつ効率よく走査経路情報を生成することで、高精度な超音波探傷検査の実施が可能な超音波検査装置を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 1 5 】

50

本発明に係る超音波検査装置は、上述した課題を解決するために、複数の圧電振動子からなる超音波トランスデューサと、前記超音波トランスデューサの複数の圧電振動子に接続され、信号発生部からの駆動信号により、所要の圧電振動子を選択する駆動素子選択部と、前記駆動素子選択部に選択された圧電振動子から発振される超音波を音響伝播媒体を介して被検査物に入射させ、その反射エコーを受信し、前記反射エコーの電気信号を検出する信号検出回路と、検出された前記反射エコーの電気信号を演算処理し、前記被検査物の内部の画像情報を生成する信号処理部とを備えた探傷処理装置と、前記被検査物が設置される走査台と、前記走査台の一辺に略垂直に固定される固定部と、前記走査台上で互いに直交する三軸方向に前記超音波トランスデューサを移動させる駆動部、および前記三軸方向のうち少なくとも一軸方向の回転軸回りに前記超音波トランスデューサを回転させる回転部とを少なくとも備えたスキャナ機構とを備えた超音波検査装置において、前記スキャナ機構の走査台に設置された前記被検査物の表面上までの距離を光学的手段を用いて計測して点群からなる計測データを取得する計測部であって、前記スキャナ機構とは独立して前記固定部に設置された光学計測部と、前記光学計測部で取得された前記点群からなる計測データを用いて、前記スキャナ機構の座標系で表された位置情報を持った点の点群からなる前記被検査物の表面の形状データを生成する形状データ生成部と、前記形状データ生成部で生成された前記形状データを用いて、前記超音波トランスデューサの走査経路を構成する前記被検査物の表面上の通過点を求め、前記被検査物の表面上の通過点の法線ベクトルと前記超音波トランスデューサの開口面が直交し、かつ前記通過点と前記超音波トランスデューサの開口面中心との距離が一定である前記超音波トランスデューサの走査経路情報を生成する経路情報生成部とを備え、前記経路情報生成部は、前記被検査物の表面上の通過点が前記形状データを構成する点群上の間を通過する場合、前記被検査物の表面上の通過点に隣接する3点の前記形状データを構成する点で形成された三角形の法線ベクトルを求め、求めた結果を前記三角形内ないし前記三角形の辺と交わる走査経路上の法線ベクトルとすることを特徴とする。

【発明の効果】

【0016】

本発明に係る超音波検査装置は、被検査物の表面の形状データを生成し、この形状データに基づき高精度かつ効率よく走査経路情報を生成することにより高精度な超音波探傷検査の実施が可能である。

【発明を実施するための最良の形態】

【0017】

本発明に係る超音波検査装置の実施形態を添付図面に基づいて説明する。

【0018】

図1は、本実施形態における超音波検査装置1の一例である概略的な全体構成図である。

【0019】

この超音波検査装置1は、マトリクス状やリニア状などのアレイ型に形成された圧電変換部23から構成される超音波トランスデューサ2を、スキャナ機構3を用いて被検査物の表面を走査することにより、被検査物の内部欠陥やボイド、剥離を開口合成法を用いて可視化することができる。

【0020】

超音波検査装置1は、超音波トランスデューサ2、スキャナ機構3、光学計測装置4、および探傷処理装置6とスキャナ機構駆動装置7と経路情報生成装置8とから構成される装置本体5から構成される。

【0021】

また、装置本体5には超音波探傷検査により得られた2次元または3次元探傷画像などを表示する表示装置9、および各種指示の入力を受け付ける入力装置10が構成される。表示装置9は、表示部、演算部、記憶部等で構成されており液晶ディスプレイ、LED(発光ダイオード)、EL(Electro Luminescence)、VFD(蛍光

10

20

30

40

50

表示管)、PDP(プラズマディスプレイパネル)などのフラットパネルディスプレイを使用することができる。また、入力装置10は、キーボードやマウスなどで構成される。

【0022】

図2は、超音波トランスデューサ2および装置本体5に設けられる探傷処理装置6を説明する機能構成図である。

【0023】

探傷処理装置6は、駆動信号を発生する信号発生部15、駆動素子選択部16、信号検出回路17、信号処理部18、制御回路19を備える。

【0024】

信号発生部15は、超音波トランスデューサ2を駆動させる駆動信号を発生する。

10

【0025】

駆動素子選択部16は、信号発生部15からの駆動信号を選択し、超音波トランスデューサ2の圧電振動子(圧電変換素子)20を選択的に駆動させる。

【0026】

信号検出回路17は、超音波トランスデューサ2から発振される超音波が被検査物21の検査領域22(ターゲット領域)に照射され、この検査領域22からの反射エコーを電気信号として超音波トランスデューサ2を介して検出する。

【0027】

信号処理部18は、信号検出回路17で検出された反射エコーの電気信号を増幅、A/D変換、可視化などの一連の処理を行い超音波画像情報を生成する。

20

【0028】

表示装置9は、表示部、演算部、記憶部等で構成されており、信号処理部18で処理された超音波画像情報をもとに必要に応じた2次元または3次元探傷画像を生成して表示する。

【0029】

制御回路19は、信号発生部15と駆動素子選択部16と信号検出回路17と信号処理部18と表示装置9との動作を制御し、超音波の発信、受信、画像化、表示等の一連の動作を制御する。

【0030】

制御回路19は、入力装置10から検査開始の指示入力を受け付けると、被検査物21の検査領域22における超音波画像情報を生成するために、先ず信号発生部15に超音波トランスデューサ2の駆動信号の発生を指示する。また、制御回路19は、超音波トランスデューサ2を構成する複数の圧電振動子20から駆動信号を供給する圧電振動子20を選択するため、駆動素子選択部16に駆動信号を供給する圧電振動子20を選択して指示する。

30

【0031】

圧電振動子20が駆動されると被検査物21の検査領域22に超音波が発信され、この超音波に基づく反射エコーが圧電振動子20で受信されて電気信号に変換される。この反射エコーは複数の圧電振動子20により同時に受信されるが、制御回路19が信号検出回路17に指示して圧電振動子20を選択することにより、超音波画像情報を生成するために必要な反射エコーを選択する。

40

【0032】

また、制御回路19は、超音波画像情報化(可視化)をするため、信号処理部18に反射エコーの電気信号の増幅、A/D変換、可視化などの一連の処理を指示する。さらに、制御回路19は、可視化した情報を表示装置9に表示するための制御指令を送る。

【0033】

入力装置10は、制御回路19に検査の開始、終了、画像切り替え等の指示入力、あるいは検査条件の設定入力を行い超音波検査装置1の操作を実行させる。

【0034】

つぎに、超音波トランスデューサ2について説明する。

50

【 0 0 3 5 】

超音波トランスデューサ 2 は、圧電変換素子としての多数の圧電振動子 2 0 を m 行 n 列のマトリクス状に整列配置された圧電変換部 2 3 を有し、この圧電変換部 2 3 はマトリクスセンサである超音波センサを構成している。圧電変換部 2 3 は圧電振動子 2 0 をマトリクス状に配設する代りに、一列にあるいは十字のライン状（アレイ状）にアレイ配列し、アレイセンサを構成してもよい。

【 0 0 3 6 】

超音波トランスデューサ 2 の各圧電振動子 2 0 には、信号発生部 1 5 で発生した駆動信号が駆動素子選択部 1 6 により選択されて加えられる。駆動素子選択部 1 6 の選択により各圧電振動子 2 0 の駆動順序が 1 個ずつあるいは複数個ずつ決定され、各圧電振動子 2 0 は所要の駆動タイミングで駆動されて超音波を発振させる。

10

【 0 0 3 7 】

また、各圧電振動子 2 0 から発振された超音波は、被検査物 2 1 の検査領域 2 2 に照射され、検査領域 2 2 の密度的境界層から一部が反射して反射エコーとなる。この反射エコーは、超音波センサである超音波トランスデューサ 2（マトリクスセンサ）で受信される。

【 0 0 3 8 】

超音波トランスデューサ 2 は超音波センサ面である発受信面側、具体的には、被検査物 2 1 側に液体あるいは固体の音響伝播媒体であるシュー部材 2 4 が密着される。シュー部材 2 4 と被検査物 2 1 との間には超音波の音響的整合をとるカップラント 2 5 が設けられる。カップラント 2 5 は、揮発性の低いゲル状の液体で形成される。音響伝播媒体であるシュー部材 2 4 が水などの液体の場合には、カップラント 2 5 は不要となる。

20

【 0 0 3 9 】

超音波トランスデューサ 2 の各圧電振動子 2 0 から順次発振された超音波は、音響伝播媒体としてのシュー部材 2 4 を通り、カップラント 2 5 を経て被検査物 2 1 の検査領域 2 2 内部に入射され、検査領域 2 2 の各境界層で反射する。

【 0 0 4 0 】

被検査物 2 1 の表面 2 1 a、境界面、底面 2 1 b、内部欠陥 2 6 等の各境界層で反射された超音波の反射エコー U は、被検査物 2 1 からシュー部材 2 4 を経て超音波トランスデューサ 2 の各圧電振動子 2 0 に時間差をもってそれぞれ受信され、各圧電振動子 2 0 を振動させて電気信号（電気エコー信号）に変換される。この電気エコー信号は、続いて信号ケーブル 2 7 を介して信号検出回路 1 7 に入力されて圧電振動子 2 0 毎に検出される。

30

【 0 0 4 1 】

信号検出回路 1 7 は信号ケーブル 2 7 を介して超音波トランスデューサ（超音波センサ）1 6 の各圧電振動子 2 0 に整列状態で接続され、圧電変換部 2 3 の各圧電振動子 2 0 で発生する電気エコー信号は、信号ケーブル 2 7 を介して信号検出回路 1 7 に導かれる。また、この信号ケーブル 2 7 を利用して信号発生部 1 5 からの駆動信号が駆動素子選択部 1 6 を介して圧電変換部 2 3 の各圧電振動子 2 0 に導かれる。

【 0 0 4 2 】

この超音波検査装置 1 の探傷処理装置の作用について説明する。

40

【 0 0 4 3 】

超音波トランスデューサ 2 の各圧電振動子 2 0 のうち、m 行 n 列目の圧電振動子 2 0 に駆動信号が加えられると、この圧電振動子 2 0 が作動して圧電体としての超音波が発生し、この超音波を発振させる。発振された超音波はシュー部材 2 4 やカップラント 2 5 を経て被検査物 2 1 の検査領域 2 2 に照射される。

【 0 0 4 4 】

被検査物 2 1 の検査領域 2 2 に照射された超音波は、検査領域 2 2 の密度的境界層から一部が反射して反射エコーとなる。この反射エコー U は、カップラント 2 5、シュー部材 2 4 を通って超音波トランスデューサ 2 に戻され、各圧電振動子 2 0 に時間差を持ってそれぞれ受信される。各圧電振動子 2 0 による圧電変換により、反射エコー U は電気信号（

50

電気エコー信号) となって信号検出回路 17 に信号ケーブル 27 を介して送られ、検出される。

【0045】

信号検出回路 17 で検出された電気エコー信号のうち、検査に必要な複数の電気エコー信号は、信号処理部 18 に導かれる。信号処理部 18 は、導かれた電気エコー信号を増幅、A/D変換、可視化などの一連の処理を行い、超音波画像情報を生成する。生成された超音波画像情報は、表示装置 9 に導かれ、画像化処理され 2 次元または 3 次元探傷画像が表示される。

【0046】

図 3 はスキャナ機構 3 および光学的計測装置 4 を説明する構成図である。

10

【0047】

スキャナ機構 3 は、被検査物 21 を設置する走査台 3a と、走査台 3a の一辺に略垂直に固定される固定部 3b と、固定部 3b 上を X 軸方向に駆動する X 軸駆動部 3c と、Y 軸方向および Z 軸方向に駆動する YZ 軸駆動部 3d から構成される。また、YZ 軸駆動部 3d の下端には、X 軸方向の回転軸である A 軸周りに回転する A 軸回転部 3e、および超音波トランスデューサ 2 が順次構成される。なお、X 軸、Y 軸および Z 軸は、互いに直交する軸である。

【0048】

スキャナ機構 3 の X 軸駆動部 3c、YZ 軸駆動部 3d および A 軸回転部 3e は、装置本体 5 のスキャナ機構駆動装置 7 から送信された制御信号に基づき、X 軸、Y 軸、Z 軸および A 軸方向に駆動する。スキャナ機構駆動装置 7 からスキャナ機構 3 に送信される制御信号は、装置本体 5 の経路情報生成装置 8 から取得される走査経路情報や、入力装置 10 から入力された情報に基づき生成される。

20

【0049】

また、スキャナ機構 3 の走査台 3a には被検査物 21 が設置され、X 軸駆動部 3c、YZ 軸駆動部 3d および A 軸回転部 3e の駆動に応じて、超音波トランスデューサ 2 が被検査物 21 の表面上の走査を行う。超音波トランスデューサ 2 が被検査物 21 の表面上の走査を行うには、あらかじめ走査経路情報を作成する必要がある。

【0050】

走査経路情報 30 とは、図 3 における被検査物 21 上に示された X 軸方向および Y 軸方向に示す矢印によって示されるものであり、スキャナ機構の YZ 軸駆動部 3d の下端に固定された超音波トランスデューサ 2 が被検査物 21 の走査を行う際に移動する経路に関する情報である。スキャナ機構駆動装置 7 は、この走査経路情報 30 に基づき X 軸駆動部 3c、YZ 軸駆動部 3d および A 軸回転部 3e を駆動させることで、超音波トランスデューサ 2 は被検査物 21 を自動的に走査する。

30

【0051】

ここで、従来の走査経路情報は被検査物の形状設計データに基づいて、計算機ソフトウェアにより作成する方法、あるいは実際にスキャナ機構 3 を駆動させることで走査経路上の通過点の一点一点を教示・登録する方法を用いて生成することが一般的であった。また、走査経路情報は、被検査物 21 の表面に対し超音波を垂直に入射でき、かつ超音波トランスデューサ 2 の開口面中心と被検査物 21 の表面との距離が一定となるように作成する必要があるが、上記いずれの方法を用いても、高精度な走査経路情報を生成することは困難であった。

40

【0052】

本発明の超音波検査装置 1 では、被検査物 21 がスキャナ機構 3 に設置された状態で、光学的計測装置 4 により被検査物 21 の表面の形状を計測し、形状データの点群を微細間隔で求めることで、高精度な走査経路情報を作成することができる。このため、走査経路情報に基づきスキャナ機構 3 を制御することにより、図 3 に示すような円筒面を表面とする被検査物 21 の表面に対して、超音波トランスデューサ 2 から発信される超音波を垂直に入射でき、かつ超音波トランスデューサ 2 の開口面中心と被検査物 21 の表面との距離

50

が一定となるように走査することが可能となる。

【 0 0 5 3 】

光学的計測装置 4 は、スキャナ機構 3 の固定部 3 b に Z 軸方向に設けられた軸 3 1 に設置され、スキャナ機構 3 の 2 次元面上である走査台 3 a 上にレーザ光 L を照射可能なように構成される。光学的計測装置 4 は、たとえば 3 次元レーザスキャナなどの一定面積を高速に走査可能な装置で構成される。

【 0 0 5 4 】

図 4 は、光学的計測装置 4、および装置本体 5 の経路情報生成装置 8 を説明する機能構成図である。

【 0 0 5 5 】

光学的計測装置 4 は、経路情報生成装置 8 の駆動制御部 3 5 に対し入力装置 1 0 から入力された指示に基づきレーザ光 L を 2 次元面上に照射し、走査台 3 a に設置された被検査物 2 1 の表面上の照射点までの距離を非接触で計測し、計測データを取得する。計測データは、以後に行う走査経路情報の生成処理において高精度な走査経路情報を生成するため、被検査物 2 1 の表面上に多数かつ微細な間隔の点群からなる計測データを取得することが望ましい。計測データは、X 軸方向に M 点、Y 軸方向に N 点の計測データを取得し、各点を (P_i, j) ($i = 1, 2, \dots, M, j = 1, 2, \dots, N$) とする。光学的計測装置 4 から取得された各点 (P_i, j) の計測データは、経路情報生成装置 8 に送信され計測データ記憶部 4 0 に格納される。

【 0 0 5 6 】

図 4 に示すように、装置本体 5 の経路情報生成装置 8 は、形状データ生成部 3 6、経路情報生成部 3 7、駆動制御部 3 5、補正処理部 3 8 および記憶部 3 9 から構成される。また、記憶部 3 9 は、計測データ記憶部 4 0、形状データ記憶部 4 1 および経路情報記憶部 4 2 から構成される。なお、補正処理部 3 8 の詳しい説明については、後述する。

【 0 0 5 7 】

形状データ生成部 3 6 は、光学的計測装置 4 から送信され、計測データ記憶部 4 0 に記憶された点群である計測データ (P_i, j) を読み出し、被検査物 2 1 の表面の形状データを生成する。

【 0 0 5 8 】

図 5 (A) は、形状データ 4 5 の点群を表した図である。

【 0 0 5 9 】

形状データ生成部 3 6 による形状データ 4 5 の生成は、光学的計測装置 4 から被検査物 2 1 の表面上の照射点までの距離に関する計測データを、スキャナ機構 3 の座標系、つまり互いに直交する X 軸、Y 軸および Z 軸から構成される座標値 (X, Y, Z) へ変換処理を行うことにより実現される。スキャナ機構 3 の座標系で表された被検査物 2 1 の表面の形状データ 4 5 の点群の位置情報は、形状データ記憶部 4 1 に格納される。

【 0 0 6 0 】

経路情報生成部 3 7 は、形状データ生成部 3 6 で生成され形状データ記憶部 4 1 に格納された形状データ 4 5 を読み出し、スキャナ機構 3 が被検査物 2 1 上を駆動するための走査経路情報を生成する。走査経路情報は、超音波トランスデューサの開口幅に直行する X 軸方向に向かって必要な長さを走査し、その後超音波トランスデューサの開口幅分 Y 軸方向にシフトして逆向きの X 軸方向に向かって必要な長さを走査する動きの組み合わせで形成される。走査経路情報は、図 5 (A) に示す形状データ 4 5 の点群上、または点群上の間を通過するように生成され、走査経路 3 0 が点群上を通過する場合には、通過する点群に与えられている座標値 (X, Y, Z) を走査経路上の通過点とする。

【 0 0 6 1 】

一方、走査経路 3 0 が点群上の間を通過する場合、形状データ 4 5 の点群中のうち走査経路 3 0 に隣接する点の間で補間演算を行い、走査経路情報を生成するために必要な通過点の位置情報である座標値 (X, Y, Z) を走査経路の通過点として取得する。

【 0 0 6 2 】

10

20

30

40

50

図 5 (B) は、図 5 (A) に示した形状データ 4 5 の点群の一部を抜き出して拡大した図である。

【 0 0 6 3 】

具体的には、走査経路 3 0 に隣接する三つの点群間 (例えば、 $(P_i, j+1)$ 、 (P_{i+1}, j) 、 $(P_{i+1}, j+1)$) で形成される三角形の辺と走査経路 3 0 とが交わる点 $(P_{pm}, n+1)$ 、 $(P_{pm}, n+2)$ の座標値 (X, Y, Z) を、この点群間の線形補間により求める。また、他の通過点である (P_{pm}, n) の座標値 (X, Y, Z) についても同様に、三角形を構成する三つの点群間 (P_i, j) 、 $(P_i, j+1)$ 、 (P_{i+1}, j) の線形補間により求める。経路情報生成部 3 7 は、このような線形補間を、走査経路と三つの点群間で形成される三角形の辺とが交わる各通過点について行い、得られた各通過点を走査経路順につなげることで、走査経路情報を得ることができる。

10

【 0 0 6 4 】

なお、通過点の補間演算は、3 点間のみならず 2 点間または 3 点間以上で行ってもよい。

【 0 0 6 5 】

また、被検査物 2 1 の表面に対して超音波トランスデューサ 2 から発信される超音波を略垂直に入射し、かつ超音波トランスデューサ 2 の開口面中心との距離を常に一定に保つため、走査経路 3 0 を形成する各通過点の法線ベクトル 4 6 を求める。走査経路 3 0 を形成する各通過点の法線ベクトル 4 6 には、上述した三つの点群間で形成される三角形の法線ベクトル 4 7 を求め、この法線ベクトル 4 7 を三角形の辺と走査経路 3 0 とが交わる点、つまり走査経路を形成する各通過点の法線ベクトル 4 6 とみなして適用する。なお、計測データの点群を微細間隔で取得することで、三角形の法線ベクトル 4 7 を各通過点の法線ベクトル 4 6 とみなしても、大きな誤差の発生を回避することができる。

20

【 0 0 6 6 】

経路情報生成部 3 7 は、このようにして求められた各通過点の法線ベクトル 4 6 を用いて、走査経路 3 0 上の各通過点の法線ベクトル 4 6 と超音波トランスデューサ 2 の開口面が常に直交するような A 軸回転部 3 e の回転量を求める。また、超音波トランスデューサ 2 の開口面中心と各通過点の距離が常に一定となるように通過点の位置情報を決定する。

【 0 0 6 7 】

よって、被検査物 2 1 の表面に対して超音波トランスデューサ 2 から発信される超音波を垂直に入射することができ、かつ超音波トランスデューサ 2 の開口面中心と被検査物 2 1 の表面との距離が常に一定となるような走査経路情報を生成することができる。

30

【 0 0 6 8 】

このように生成された走査経路情報は、スキャナ機構 3 の座標系における座標値 (X, Y, Z) および A 軸回転部 3 e の回転量で与えられ、経路情報生成装置 8 の経路情報記憶部 4 2 に格納される。装置本体 5 のスキャナ機構駆動装置 7 はこの経路情報記憶部 4 2 に格納された走査経路情報を読み込むことで、スキャナ機構 3 を制御する。

【 0 0 6 9 】

次に、図 6 を用いて本実施形態における超音波検査装置 1 を用いた超音波探傷検査について説明する。

40

【 0 0 7 0 】

超音波検査装置 1 による超音波探傷検査は、被検査物 2 1 がスキャナ機構 3 の走査台 3 a に設置され、入力装置 1 0 から入力された検査開始の指示に基づき開始される。

【 0 0 7 1 】

ステップ S 1 において、光学的計測装置 4 は、走査台 3 a に設置された被検査物 2 1 に対しレーザ光 L を照射し、被検査物 2 1 の表面上の照射点までの距離を非接触で計測した点群を取得し、計測データとして計測データ記憶部 4 0 に格納する。計測データの点群は、高精度な走査経路情報を生成するために微細な間隔で取得することが望ましい。

【 0 0 7 2 】

50

ステップS 2において、形状データ生成部3 6は、計測データ取得ステップS 1において取得され、計測データ記憶部4 0に格納された計測データを読み込み、被検査物2 1表面のスキナ機構3の座標系における座標値(X, Y, Z)に変換された位置情報を持った形状データ4 5を生成する。生成された形状データ4 5は、形状データ記憶部4 1に格納される。

【0073】

ステップS 3において、経路情報生成装置8の経路情報生成部3 7は、形状データ生成ステップS 2において形状データ記憶部4 1に記憶された形状データを読み込み、超音波トランスデューサ2が被検査物2 1の走査を行う走査経路情報を生成し、記憶部3 9の経路情報記憶部4 2に格納する。走査経路情報の生成は、形状データ4 5の点群を用いて補間演算を行い、通過点の位置情報および法線ベクトル4 6を求めた後、各通過点の法線ベクトル4 6と超音波トランスデューサ2の開口面が直交し、かつ超音波トランスデューサ2の開口面中心と被検査物2 1の表面との距離が常に一定となるような通過点の座標(X, Y, Z)およびA軸回転部3 eの回転量を求め、これを走査経路順につなぐことで、走査経路情報が生成される。

【0074】

ステップS 4において、スキナ機構駆動装置7は入力装置1 0などからの入力に基づき、経路情報生成ステップS 3において経路情報記憶部4 2に格納された走査経路情報3 0を読み込み、この走査経路情報3 0に基づきスキナ機構3のX軸駆動部3 c、YZ軸駆動部3 dおよびA軸回転部3 eを駆動させる。

【0075】

ステップS 5において、超音波トランスデューサ2は、スキナ機構3のX軸駆動部3 c、YZ軸駆動部3 dおよびA軸回転部3 eの駆動に応じて、被検査物2 1の表面上の走査を行う。超音波トランスデューサ2は、装置本体5の探傷処理装置6の制御により被検査物2 1の表面上を移動して走査する。

【0076】

ステップS 6において、走査ステップS 5で行われた走査により得られた被検査物2 1の2次元または3次元の探傷画像を表示装置9に表示し、超音波探傷検査は終了する。

【0077】

この超音波検査装置1によれば、光学的計測装置4を用いることで、実際に超音波探傷検査を行うスキナ機構3の走査台3 a上に被検査物2 1が設置された状態で、被検査物2 1の表面上の微細な間隔の点群を形状データ4 5として生成することができる。このようにして得られた形状データ4 5からは、従来のように被検査物2 1の製作誤差、設置誤差等を含まない、極めて精度の高い走査経路情報を生成することができる。

【0078】

また、光学的計測装置4を用いて得られた形状データ4 5が、超音波トランスデューサ2の走査経路3 0上に存在しない場合であっても、微細な間隔の点群が形状データ4 5として生成されるため、走査経路上に隣接する形状データ4 5の点群を簡易な方法で補間することで走査経路3 0上の座標値を大きな誤差を発生することなく求めることができ、高精度な走査経路情報を生成することができる。

【0079】

さらに、高精度な走査経路情報に基づき、被検査物2 1の表面に対して超音波トランスデューサ2から発信される超音波を垂直に入射することができ、かつ超音波トランスデューサ2の開口面中心と被検査物2 1の表面との距離を一定に保つことができるため、さらに高精度な超音波探傷検査を実施することができる。

【0080】

さらにまた、2次元面上でレーザなどの光学的計測装置4を用いて計測データを取得することで、従来被検査物2 1の表面上の計測データの取得に必要であった膨大な時間を費やすことを回避でき、効率よく超音波探傷検査を行うことができる。

【0081】

つまり、本実施形態における超音波検査装置 1 は、高精度な走査経路情報に基づきスキャナ機構 3 を精度よく駆動させることができ、超音波探傷検査による欠陥 2 6 などの 2 次元または 3 次元探傷画像の精度を向上させることができる。

【 0 0 8 2 】

次に、光学的計測装置 4 から得られた計測データに基づいて生成された走査経路情報を補正データとして用い、あらかじめ他の方法で生成された走査経路情報の補正処理を行い、超音波探傷検査に用いられる高精度な走査経路情報を生成する場合について説明する。

【 0 0 8 3 】

あらかじめ走査経路情報を生成する他の方法としては、実際にスキャナ機構を被検査物上で駆動させながら走査経路上の通過点の一点一点を教示・登録することで走査経路情報を生成する方法、あるいは被検査物の形状設計データに基づいて、計算機ソフトウェアにより走査経路情報を生成する方法があった。

【 0 0 8 4 】

また、走査経路情報は、被検査物 2 1 の表面に対し超音波を垂直に入射でき、かつ超音波トランスデューサ 2 の開口面中心と被検査物 2 1 の表面との距離が一定となるように生成する必要がある。しかし、上記いずれの方法で生成された走査経路情報を用いても、走査を高精度に実現することは困難であった。

【 0 0 8 5 】

そこで、このような方法で得られた走査経路情報に対し、本実施形態における超音波検査装置 1 を用いて補正処理を行うことで、不十分であった走査経路情報の精度を向上させることができる。

【 0 0 8 6 】

走査経路生成装置 8 の補正処理部 3 8 は、光学的計測装置 4 を用いて被検査物 2 1 の一部に対して走査経路情報を生成したものを補正データとし、あらかじめ生成された他の走査経路情報の補正処理を行う。

【 0 0 8 7 】

本実施形態における補正処理では、被検査物 2 1 の一部の一例として、被検査物 2 1 の対向する両端部の走査経路情報をそれぞれ求める。また、あらかじめ生成された他の走査経路情報の一例として、被検査物の形状設計データに基づいて計算機ソフトウェアにより生成された走査経路情報を適用する。

【 0 0 8 8 】

図 7 は、補正処理におけるデータの流れを説明する図である。

【 0 0 8 9 】

光学的計測装置 4 および経路情報生成装置 8 は、図 6 で説明した超音波探傷検査と同様に、計測データ取得ステップ S 1 ~ 走査経路情報生成処理 S 3 までの各種処理を、走査台 3 a に設置された被検査物 2 1 の一部に対して行い、補正データとしての走査経路情報 5 1 (以下、補正データ 5 1 という。)を生成する。補正データ 5 1 は、補正処理部 3 8 に送信され、補正処理部 3 8 は補正データ 5 1 を受け付ける。

【 0 0 9 0 】

一方、補正処理部 3 8 は、入力装置 1 0 などから入力された、あらかじめ他の方法で生成された走査経路情報 5 0 (以下、走査経路情報 5 0 という。)を受け付ける。

【 0 0 9 1 】

図 8 は、補正データ 5 1 と走査経路情報 5 0 を受け付けた補正処理部 3 8 で行われる走査経路情報の補正処理を説明するフローチャートである。

【 0 0 9 2 】

ステップ S 1 1 において、補正処理部 3 8 は、補正データ 5 1 と、これに対応する走査経路情報 5 0 中の走査経路情報を比較する。具体的には、補正処理部 3 8 は、被検査物の対向する両端部の走査経路情報を比較する。

【 0 0 9 3 】

ステップ S 1 2 において、補正処理部 3 8 は、比較ステップ S 1 1 において行った比較

10

20

30

40

50

に基づいて、補正データ 5 1 と走査経路情報 5 0 との差分を求める。

【 0 0 9 4 】

ステップ S 1 3 において、補正処理部 3 8 は、差分取得ステップ S 1 2 において取得した差分に基づき、走査経路情報 5 0 全体の走査経路について補間処理を行い、補正された走査経路情報を生成する。補正された走査経路情報は、経路情報生成装置 8 の経路情報記憶部 4 2 に格納されることで、補正処理は終了する。

【 0 0 9 5 】

この超音波検査装置 1 によれば、あらかじめ他の方法で生成された走査経路情報であっても、実際の超音波探傷検査に合致した走査経路情報に基づく補正データを生成することができる。これにより、被検査物に対して高精度な走査を実現することができなかった走査経路情報に対しても、補正データにより補正処理を行うことにより高精度な走査経路情報に補正を行うことができる。

10

【 0 0 9 6 】

また、あらかじめ形状設計データなどに基づき生成された走査経路情報は、製造時における工作精度に起因して、実際の被検査物の形状と形状設計データ上の被検査物との不一致が発生することが考えられるが、補正処理を行うことで製作誤差や設置誤差などを含まない精度の高い走査経路情報を生成することができる。

【 0 0 9 7 】

つまり、本実施形態における超音波検査装置 1 は、補正処理によって補正された高精度な走査経路情報に基づき、スキャナ機構 3 を精度よく駆動させることができ、超音波探傷検査による欠陥 2 6 などの 2 次元または 3 次元探傷画像の精度を向上させることができる。

20

【 0 0 9 8 】

次に、超音波探傷検査に必要な走査経路情報を生成するために用いられる形状設計データを補正する補正データ取得処理について説明する。

【 0 0 9 9 】

上述したように、従来、走査経路情報は被検査物の製造時の形状設計データに基づいて、計算機ソフトウェアにより走査経路情報を生成する方法を用いて行われていた。

【 0 1 0 0 】

この形状設計データに基づき走査経路情報を生成する場合、被検査物の製造時における工作精度に起因して、実際の被検査物の形状と形状設計データ上の被検査物との不一致が発生することが考えられる。このような不一致が発生している形状設計データを用いて生成された走査経路情報により、精度の良い超音波探傷検査を実現することはできなかった。

30

【 0 1 0 1 】

そこで、本実施形態における超音波検査装置 1 を用いて、正確な被検査物の形状データを生成し、この形状データを用いて形状設計データを補正し補正後の形状設計データに基づいて走査経路情報を生成することで、計算機ソフトウェアにより走査経路情報を生成するという従来から存在した走査経路情報の生成方法を用いても、精度の高い走査経路情報を生成することができる。

40

【 0 1 0 2 】

図 9 は、形状設計データの補正処理におけるデータの流れを説明するフローチャートである。

【 0 1 0 3 】

図 6 で説明した超音波探傷検査と同様に、計測データ取得ステップ S 1 ~ 形状データ生成処理 S 2 までの各種処理を走査台 3 a に設置された被検査物 2 1 に対して行い得られた点群の形状データ 5 5 (以下、補正データ 5 5 という。)を生成する。

【 0 1 0 4 】

生成された補正データ 5 5、および入力装置 1 0 などから入力を受け付けた被検査物 2 1 の形状設計データ 5 6 は、補正処理部 3 8 に送信され、補正処理部 3 8 は補正データ 5

50

5 および被検査物 2 1 の形状設計データ 5 6 を受け付ける。

【 0 1 0 5 】

補正データ 5 5 および被検査物 2 1 の形状設計データ 5 6 を受け付けた補正処理部 3 8 は、形状設計データ 5 6 に対し補正処理を行う。補正処理部 3 8 は、補正データ 5 5 の形状データと、形状設計データの差分に基づき、被検査物 2 1 の形状データ全体について補間処理を行い、補正された形状設計データ 5 7 を生成する（ステップ S 2 1 ）。

【 0 1 0 6 】

生成された補正された形状設計データ 5 7 は、形状データ記憶部 4 0 に格納された後、表示部、演算部、記憶部などで構成された表示装置 9 などに出力され、計算機ソフトウェアにより走査経路情報 5 8 が生成される（ステップ S 2 2 ）。以上で形状設計データ 5 6 の補正処理は終了する。

10

【 0 1 0 7 】

この超音波検査装置 1 によれば、製造時における工作精度に起因した実際の被検査物の形状と形状設計データ上の被検査物との不一致が存在する形状設計データ 5 6 を、高精度な形状データ 5 5 を用いて補正処理を行うことで、製作誤差や設置誤差などを含まない形状設計データ 5 7 を生成することができ、その結果、高精度な走査経路情報 5 8 を生成することができる。

【 0 1 0 8 】

また、この超音波検査装置 1 は、光学的計測装置 4 および経路情報生成装置 8 を用いて生成された形状データを補正データとして用い、既存の走査経路情報や形状データに対して補正を行うことができる点においても有効である。

20

【 0 1 0 9 】

つまり、本実施形態における超音波検査装置 1 は、補正処理を行うことによって生成された高精度な走査経路情報に基づき、スキャナ機構 3 を精度よく駆動させることができ、超音波探傷検査による欠陥 2 6 などの 2 次元または 3 次元探傷画像の精度を向上させることができる。

【 0 1 1 0 】

なお、光学的計測装置 4 は、光学的手段の一例としてレーザ光 L を用いて被検査物 2 1 の 3 次元形状を計測した計測データを取得したが、これに限らず CCD (Charge - Coupled Devices) や、モアレ縞の縞形の形状を用いるなど、他の光学的手段を用いて計測データを取得してもよい。

30

【 0 1 1 1 】

また、被検査物の一例として、円筒形状の表面を有する被検査物 2 1 を適用して説明したが、これに限らず球形や平板など他の形状であってもよい。

【 0 1 1 2 】

さらに、スキャナ機構 3 の回動部は X 軸方向の回転軸である A 軸周りの A 軸回動部 3 e のみを設けたが、Y 軸方向および Z 軸方向の回転軸をそれぞれ設けてもよい。

【 0 1 1 3 】

さらにまた、形状データ 4 5 に基づいて走査経路情報を生成する場合、隣接する 3 点の形状データを用いて通過点を求めたが、これに限らず例えば 4 点の形状データを用いて通過点および走査経路情報を生成してもよい。

40

【図面の簡単な説明】

【 0 1 1 4 】

【図 1】本発明に係る超音波検査装置の概略的な全体構成図。

【図 2】超音波トランスデューサおよび装置本体に設けられた探傷処理装置を説明する機能構成図。

【図 3】スキャナ機構および光学的計測装置を説明する構成図。

【図 4】光学的計測装置、および装置本体に設けられた経路情報生成装置を説明する機能構成図。

【図 5】(A) は形状データの点群を表した図、(B) は形状データの点群の一部を抜き

50

出して拡大した図。

【図6】本実施形態における超音波検査装置を用いた超音波探傷検査について説明するフローチャート。

【図7】補正処理におけるデータの流れを説明する図。

【図8】走査経路情報の補正処理を説明するフローチャート。

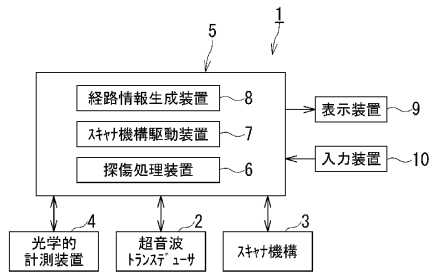
【図9】形状設計データの補正処理におけるデータの流れを説明するフローチャート。

【符号の説明】

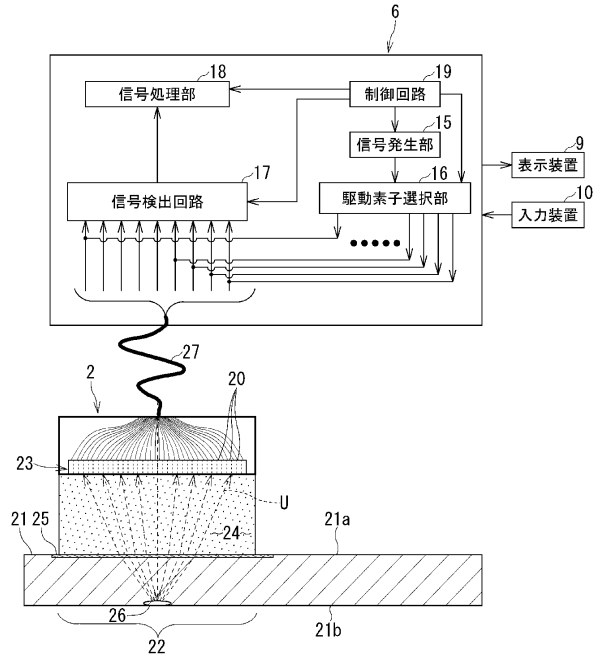
【0115】

1	超音波検査装置	
2	超音波トランスデューサ	10
3	スキャナ機構	
3 a	走査台	
3 b	固定部	
3 c	X軸駆動部	
3 d	YZ軸駆動部	
3 e	A軸回転部	
4	光学的計測装置	
5	装置本体	
6	探傷処理装置	
7	スキャナ駆動装置	20
8	経路情報生成装置	
9	表示装置	
10	入力装置	
21	被検査物	
30	走査経路	
35	駆動制御部	
36	形状データ生成部	
37	経路情報生成部	
38	補正処理部	
39	記憶部	30
40	計測データ記憶部	
41	形状データ記憶部	
42	経路情報記憶部	
45	形状データ	
46, 47	法線ベクトル	

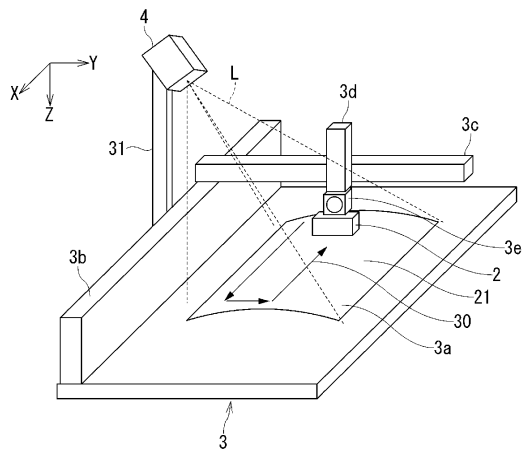
【図 1】



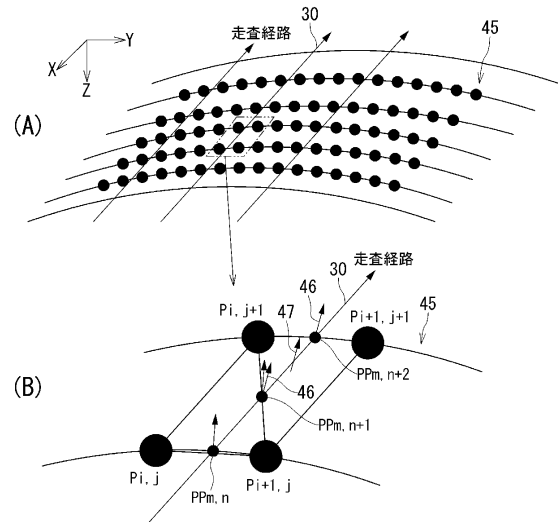
【図 2】



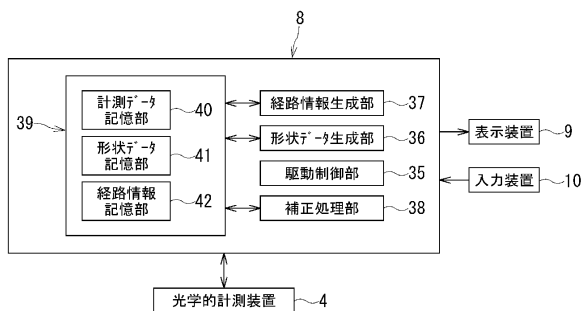
【図 3】



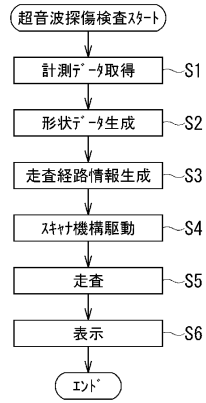
【図 5】



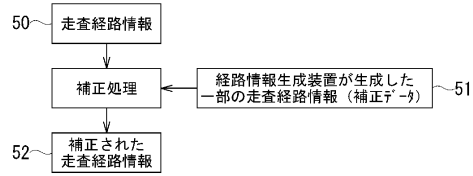
【図 4】



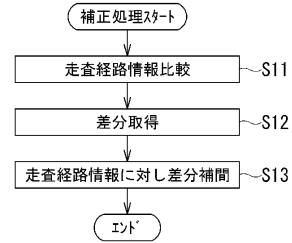
【図 6】



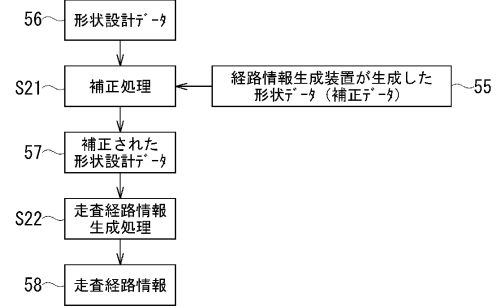
【図 7】



【図 8】



【図 9】



フロントページの続き

(72)発明者 新井 良一

東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝内

(72)発明者 磯部 英夫

東京都大田区蒲田五丁目37番1号 東芝プラントシステム株式会社内

審査官 遠藤 孝徳

(56)参考文献 特許第2720077(JP, B2)

特開2005-300363(JP, A)

特開平5-45347(JP, A)

特開2005-106654(JP, A)

特許第2553867(JP, B2)

特開2006-317417(JP, A)

特開2005-315582(JP, A)

特表2007-509332(JP, A)

国際公開第2007/028941(WO, A1)

特開2005-315583(JP, A)

特許第3766210(JP, B2)

実開昭58-166195(JP, U)

特開2007-192649(JP, A)

特開平5-203784(JP, A)

米国特許第3898838(US, A)

米国特許第3678736(US, A)

米国特許第3978714(US, A)

米国特許第6378376(US, B1)

米国特許第4881177(US, A)

国際公開第2007/021541(WO, A2)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01N 29/00 - 29/52

A61B 8/00 - 8/15

B23Q 35/00 - 35/48

G01B 17/00 - 17/08

G01S 15/00 - 15/96

H04R 1/00 - 1/46

H04R 17/00 - 17/10

JSTPlus(JDreamII)

JST7580(JDreamII)